Mise au point d'un système pour la récupération des solvants contenus dans les boues de distillation avec valorisation énergétique des résidus organiques

Rapport SPE 3/CI/1
Juillet 1989

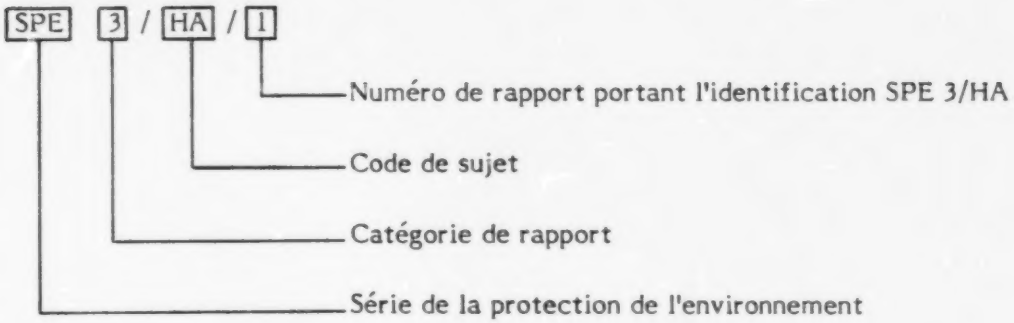
Environnement Canada Environment Canada

Canada

89-05680/

SÉRIE DE RAPPORTS DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Exemple de numérotage:



Catégories

1	Règlements/Lignes directrices/ Codes de procédure
2	Consultation publique: évaluation des problèmes, options de contrôle
3	Recherche et développement technologique
4	Revues de la documentation
5	Relevés
6	Évaluations des impacts sur l'environnement
7	Surveillance
8	Propositions, analyses et énoncés de principes généraux
9	Guides

Sujets

AG	Agriculture
AN	Technologie anaérobie
AP	Pollutants atmosphériques
AT	Toxicité aquatique
CC	Produits chimiques commerciaux
CE	Consommateurs et l'environnement
CI	Industries chimiques
FA	Activités fédérales
FP	Traitement des aliments
HA	Déchets dangereux
IC	Chimie inorganique
MA	Pollution marine
MM	Exploitation minière et traitement des minéraux
NR	Régions du Nord et rurales
PF	Papier et fibres
PG	Production de l'électricité
PN	Pétrole et gaz naturel
SF	Traitement de surface
SP	Déversements de pétrole et de produits chimiques
SRM	Méthode de référence normalisée
TS	Systèmes de transport
TX	Textiles
UP	Pollution urbaine
WP	Protection/préservation du bois

Sujets et codes additionels sont introduits au besoin. Une liste de rapports du SPE peut être obtenue en s'adressant aux Publications de la protection de l'environnement, Conservation et Protection, Environnement Canada, Ottawa (Ontario) K1A 0H3.

MISE AU POINT D'UN SYSTÈME POUR LA RÉCUPÉRATION DES SOLVANTS CONTENUS DANS LES BOUES DE DISTILLATION AVEC VALORISATION ÉNERGÉTIQUE DES RÉSIDUS ORGANIQUES

par

D.K. Jackson, W.F.M. Brown, K.D. Burrell et I.R. McGregor
Anachemia Solvents Limited

pour la

Direction du développement technologique et des services techniques
Conservation et Protection
Environnement Canada

Ce projet a été réalisé en vertu du Programme de création et de démonstration de techniques de conservation des ressources et de l'énergie.

Rapport SPE 3/CI/1
Juillet 1989

Données de catalogage avant publication (Canada)

Vedette principale au titre:

Mise au point d'un système pour la récupération des solvants contenus dans les boues de distillation avec valorisation énergétique des résidus organiques

(Rapport ; SPE 3/CI/1)
Publ. aussi en anglais sous le titre: Development of a system to combine solvent recovery with the recovery of heat from residual organic wastes.
Comprend un résumé en anglais.
Comprend des références bibliogr.
ISBN 0-662-95587-0
No de cat MAS En49-19/3-1F

1. Solvants organiques. 2. Déchets organiques -- Canada -- Recyclage. 3. Récupération (Déchets, etc.) -- Installations -- Canada. I. Jackson, D. K. (David Keith), 1920- . II. Canada. Direction du développement technologique et des services techniques. III. Canada. Environnement Canada. IV. Collection: Rapport (Canada. Environnement Canada) ; SPE 3/CI/1.

TD196.S54D4914 1989 661'.807 C89-097117-X

COMMENTAIRES DES LECTEURS

Les lecteurs désirant faire des observations sur ce rapport sont priés de les adresser au:

Dr H. Dibbs
Direction du développement technologique
et des services techniques
Conservation et Protection
Environnement Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 0H3

Édition française de

Development of a System to Combine Solvents Recovery with the Recovery of Heat from Residual Organic Wastes

préparée par le Module d'édition française
Centre Saint-Laurent

English copy available from
Environmental Protection Publications
Conservation and Protection
Environment Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 0H3

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1989
No de catalogue En 49-19/3-1F
ISBN 0-662-95587-0
IMPRIMERIE BEAUREGARD LIMITÉE

RÉSUMÉ

On a mis au point un procédé qui permet de récupérer à la fois les solvants et l'énergie des boues résiduaires de la distillation classique des mélanges de solvants et de peintures. La récupération s'effectue en mettant les boues en contact avec du sable chaud, ce qui a pour effet de chasser les solvants sous forme de vapeurs. Le sable auquel a adhéré la partie non volatile des boues est régénéré et réchauffé dans un réacteur à lit à jet. Les gaz de pyrolyse provenant du réacteur sont dirigés dans une chambre de postcombustion dont la chaleur sert à produire de la vapeur dans une chaudière de récupération. Les particules entraînées par les gaz de pyrolyse sont les minéraux des boues et elles sont en partie captées avant la combustion des gaz dans une série de cyclones; l'épuration des gaz est complétée par un filtre à manches placé après la chaudière de récupération.

Le processus permet de récupérer la plus grande partie des solvants contenus dans les boues. La pyrolyse des matières non volatiles p oduit des gaz combustibles et l'essentiel de la chaleur requise pour faire fonctionner le réacteur. On produit de la vapeur en brûlant les gaz de pyrolyse dans une chambre de postcombustion. Les eaux usées de la distillation des mélanges de solvants, qui renferment encore des solvants, sont incinérées également dans cette chambre.

Ce procédé est avantageux pour Anachemia Solvents Limited, ses clients et le Canada.

ABSTRACT

A process has been developed that allows the recovery of solvent and energy from still-bottom sludges produced from the conventional distillation of solvent-paint mixtures. Recovery is effected by bringing the sludge into contact with hot sand to drive off the solvent as vapour. The sand, coated with the nonvolatile portion of the sludge, is regenerated and reheated in a spouted-bed reactor. Pyrolysis gas from the reactor is sent to an afterburner where it is burned completely, the resulting heat being used to generate process steam in a waste-heat boiler. Particulate matter in the pyrolysis gas is derived from the mineral content of the sludge and it is partially removed before combustion in a set of cyclones; the balance is taken out of the flue gas from the waste-heat boiler by a baghouse.

The process is able to recover most of the solvent content of the sludge feed; the destruction of the nonvolatile combustibles produces pyrolysis gas and most of the heat required to operate the reactor. Process steam is made from combustion of the pyrolysis gas in an afterburner. The afterburner is also used to destroy solvent-bearing process water, produced by the conventional distillation of solvent mixtures.

The result of operating this process is a net economic benefit to Anachemia Solvents, its customers, and Canada.

TABLE DES MATIÈRES

	RÉSUMÉ	
	ABSTRACT	IV
	LISTE DES FIGURES	VII
	LISTE DES TABLEAUX	VII
	REMERCIEMENTS	VIII
1	**Introduction**	1
1.1	Historique	1
1.2	Choix d'un procédé	3
1.3	Les aspects écologiques	4
1.4	Contenu du rapport	4
2	**Usine pilote**	5
2.1	Taille de l'usine pilote	5
2.2	Schéma simplifié	5
2.3	Emplacement de l'usine pilote	5
2.4	Mélangeur-évaporateur	7
2.5	Épuration des vapeurs et récupération des solvants	8
2.6	Réacteur	9
2.7	Système de transport du sable	11
2.8	Stockage et transport du sable	13
2.9	Épuration des gaz	13
2.10	Systèmes de commande	14
2.11	Fonctionnement du procédé	14
2.11.1	Démarrage	14
2.11.2	Mode auto-entretenu	15
2.11.3	Arrêt	15
3	**Usine de démonstration**	16
3.1	Introduction	16
3.2	Mélangeur-évaporateur	16
3.3	Récupération des solvants et épuration des vapeurs	16
3.4	Réacteur	17
3.5	Réchauffeur	17
3.6	Système de transport du sable	18
3.7	Épuration des gaz	18
3.8	Incinération et production de vapeur	18
3.9	Épurateur sec	19
3.10	Filtre à manches	20
3.11	Systèmes de commande	20
3.12	Études de simulation	21
3.13	Performance	22
3.13.1	Essai 26, du 15 au 23 décembre 1986	22
3.13.2	Résumé de la performance du système de septembre à mars	25

4	**Effets sur l'environnement**	27
4.1	Introduction	27
4.2	Agrément du ministère de l'Environnement de l'Ontario	27
4.3	Élimination des solides	27
4.4	Qualité de l'air	28
4.5	Qualité de l'eau	29
5	**Considérations économiques et économies d'énergie**	30
6	**Conclusions et travaux ultérieurs**	31
	RÉFÉRENCES	32

LISTE DES FIGURES

1	COMPOSITION TYPE D'UN SOLVANT SOUILLÉ	2
2	COMPOSITION TYPE DES BOUES DE DISTILLATION DES SOLVANTS	2
3	SCHÉMA SIMPLIFIÉ DU PROCÉDÉ *VOLATILATOR*	6
4	PLAN DE SITUATION DE L'USINE PILOTE	6
5	MÉLANGEUR-ÉVAPORATEUR	7
6	SYSTÈME D'ÉPURATION DES VAPEURS ET DE RÉCUPÉRATION DU SOLVANT	8
7	SCHÉMA DU RÉACTEUR	10
8	SYSTÈME DE TRANSPORT DU SABLE	12
9	EFFET DE L'INJECTION D'EAUX USÉES SUR LE FONCTIONNEMENT DE LA CHAMBRE DE POSTCOMBUSTION	23

LISTE DES TABLEAUX

1	BILAN DE MATIÈRES DE L'ESSAI 26 (du 15 au 23 décembre 1986)	24
2	BILAN THERMIQUE DE L'ESSAI 26 (du 15 au 23 décembre 1986)	25
3	TENEURS EN PRODUITS DIVERS DANS LES GAZ DE CARNEAU	29

REMERCIEMENTS

Nous remercions Environnement Canada de son aide financière consentie en vertu de son programme de création et de démonstration de techniques de conservation des ressources et de l'énergie. Nous avons aussi été très heureux des nombreuses remarques utiles faites par le personnel de ce ministère pendant les travaux. Nous tenons à remercier également le ministère de l'Environnement de l'Ontario de son attitude encourageante et constructive à l'égard de nos efforts pour atténuer les conséquences des opérations d'Anachemia Solvents sur l'environnement.

AVIS DE RÉVISION

Le présent rapport a été revu par la Direction du développement technologique et des services techniques d'Environnement Canada, qui en a approuvé la publication. Cette approbation ne signifie pas nécessairement que le contenu soit conforme aux vues et aux politiques d'Environnement Canada. La mention de marques de commerce ou de produits commerciaux ne signifie pas qu'on en recommande ou approuve l'emploi.

1 INTRODUCTION

1.1 Historique

Les fabricants ou les utilisateurs de peintures doivent nettoyer leur matériel dès qu'ils changent de couleur. Dans l'industrie automobile, en particulier, la production exige des changements fréquents de couleur, ce qui nécessite le rinçage de l'équipement et des canalisations avec des solvants. Il y a donc production de volumes importants de peintures diluées de couleur indéfinie. Beaucoup d'autres procédés industriels entraînent la production de solvants souillés. Ces produits ne doivent pas être envoyés aux décharges municipales; ils doivent être récupérés ou incinérés afin de ne pas surcharger les réseaux d'égouts municipaux et de ne pas polluer l'environnement. Les solvants régénérés constituent des solvants de rinçage à bon prix. La régénération des solvants présente un autre aspect séduisant pour l'économie en général. Toute quantité de solvant régénéré est autant de pétrole qu'on n'aura pas à extraire ou à importer pour fabriquer du solvant pur. Les producteurs de solvants souillés peuvent s'adresser à des sociétés spécialisées pour les régénérer. S'ils n'avaient pas cette possibilité, il est probable qu'ils devraient s'équiper d'installations de régénération coûteuses à défaut d'avoir des volumes suffisamment importants pour que l'opération soit rentable.

Anachemia Solvents, située à Mississauga, un peu à l'ouest de Toronto, est le plus important régénérateur de solvants au Canada. Les clients envoient leurs solvants souillés à Anachemia et celle-ci leur restitue un solvant régénéré. Les activités de la société sont donc avantageuses au regard de l'environnement et profitables pour ses clients.

Pour extraire les solvants des produits souillés, Anachemia Solvents utilise des procédés de distillation classique, soit en discontinu, soit dans des évaporateurs à lit ruisselant. L'extraction des solvants se poursuit tant que la température ou que la nature du résidu ne rendent pas l'opération risquée. (Certaines peintures contiennent des résines qui se polymérisent rapidement lorsqu'elles sont chaudes et exposées à l'air ou autres agents favorisant leur polymérisation. Si l'on pousse plus loin l'extraction des solvants par des moyens classiques, on court le risque de voir les résines se polymériser et que le résidu se transforme en une masse solide.) La composition typique d'un "solvant souillé" est donnée à la figure 1. La distillation classique produit un distillat comportant une phase solvant et une phase aqueuse ainsi que des résidus appelés boues de distillation. Ces boues contiennent environ 50 p. 100 de solvants, 25 à 40 p. 100 de résines, 5 à 20 p. 100 d'eau et 5 à 10 p. 100 de matières solides, comme le montre la figure 2.

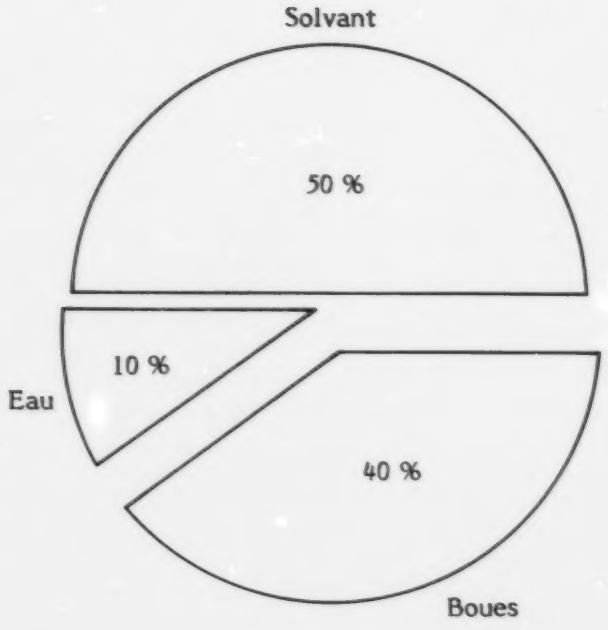


FIGURE 1 COMPOSITION TYPE D'UN SOLVANT SOUILLÉ

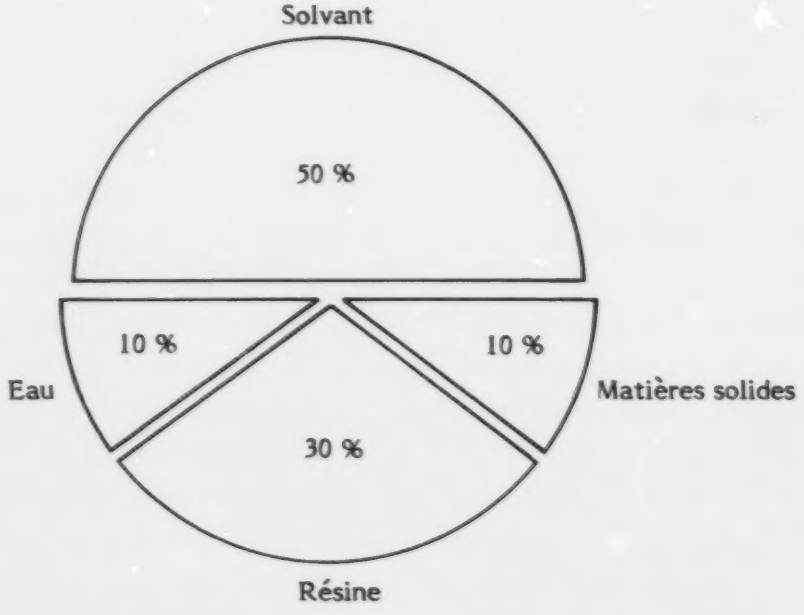


FIGURE 2 COMPOSITION TYPE DES BOUES DE DISTILLATION DES SOLVANTS

Le problème pour Anachemia Solvents était de se débarrasser de ces boues. Auparavant, on les incinérait sur place. Une partie de la chaleur résultant de l'incinération était utilisée pour produire de la vapeur et le surplus était évacué à l'atmosphère. Une partie des particules de peinture se retrouvait dans les cendres d'incinération qui étaient transportées à une décharge municipale. Lorsque la production de boues était supérieure à la capacité de l'incinérateur, l'excès était transporté à une décharge contrôlée ou incinéré ailleurs. Dans les deux cas, il s'agissait souvent d'emplacements situés aux États-Unis.

Le transport de ces boues à une décharge contrôlée est de plus en plus coûteux (il est actuellement d'environ 10 cents/litre). De plus, la quantité de boues dont on peut se débarrasser est limitée par le nombre de décharges autorisées, toutes localisées de surcroît à l'extérieur du Canada. Il est arrivé qu'aucune décharge ne puisse accepter un envoi. Il est donc dans l'intérêt d'Anachemia de pouvoir traiter sur place la plus grande partie possible des résidus de ses opérations de régénération. Cependant, l'incinération des boues pose d'importants problèmes. La teneur en particules des gaz rejetés par la cheminée de l'incinérateur est très élevée. En novembre 1982, le ministère de l'Environnement de l'Ontario (MEO) a mesuré les émissions à la cheminée de l'incinérateur d'Anachemia et a constaté qu'elles étaient supérieures aux normes fixées par les règlements de protection de l'environnement. Environ 65 p. 100 des particules de peinture présentes dans les boues s'échappaient par la cheminée; le reste se déposait dans l'incinérateur qui devait être nettoyé chaque semaine. En juin 1984, Anachemia Solvents a reçu une Ordonnance de réglementation lui enjoignant de modifier l'incinérateur de manière à ce que les émissions de particules, de plomb, de titane et d'acide chlorhydrique soient acceptables à défaut de quoi elle devrait le fermer d'ici septembre 1984. Toute nouvelle installation devrait recevoir un Certificat d'agrément du ministère. (Les conditions d'agrément figurent dans une lettre du MEO datée de mai 1986.) Des procédures d'appel auraient probablement permis de retarder l'échéance prévue dans l'Ordonnance. Anachemia ayant été sensibilisée au problème a plutôt décidé de chercher immédiatement une solution technique.

1.2 Choix d'un procédé

Plusieurs solutions ont été examinées par W.F.M. Brown Associates. On a même envisagé le simple ajout d'un laveur à chaux pour éliminer les gaz acides, et d'un filtre à manches pour capter les particules. La plupart des solutions représentaient des dépenses supplémentaires et n'apportaient rien en retour. Une seule solution semblait avantageuse tant sur le plan financier qu'au regard de l'environnement; il s'agissait d'un

procédé permettant de récupérer une partie des solvants que contenaient les boues, de valoriser le contenu énergétique de celles-ci et de capter les particules au moyen d'un dépoussiéreur (ou filtre) à manches. Les solvants ainsi récupérés généreraient des revenus, on réduisait le gaspillage d'énergie de même que le volume de gaz de carneau et, par conséquent, la taille du dépoussiéreur et du laveur à chaux. Le résidu provenant de l'extraction du solvant contenu dans les boues devait cependant être fluide et il fallait trouver une méthode qui l'empêche de se transformer en une masse compacte dans l'enceinte de traitement. Le concept proposé était simple. Il consistait à verser les boues de distillation sur du sable chaud afin de vaporiser les solvants. Le résidu serait adsorbé sur le sable. Le sable souillé serait transféré dans un four à combustion substoechiométrique afin de permettre la combustion du résidu adsorbé et porter le sable à la température voulue pour son recyclage. Le réacteur proposé était à lit fluidisé à jet. Un lit fluidisé simple aurait pu convenir, mais celui proposé exige 40 p. 100 de moins d'air, donc une soufflante moins puissante.

1.3 Les aspects écologiques

Le nouveau procédé (2) offrait d'importants avantages pour l'environnement. Comme il répondait aux exigences de l'Ordonnance du MEO, il permettait à Anachemia de poursuivre ses opérations de régénération de solvants souillés et évitait ainsi d'avoir à les éliminer dans des décharges autorisées à recevoir des solvants. L'autre avantage important rattaché à la régénération des solvants souillés est l'économie de pétrole brut. Toute quantité de solvant régénéré est autant de brut économisé. Bien qu'il aurait suffi qu'Anachemia ajoute un filtre à manches à l'incinérateur existant pour être conforme aux normes prescrites par le MEO, le problème des pertes de solvants que contenaient les boues subsistait. Il aurait de plus fallu refroidir les gaz de carneau à des températures compatibles pour le filtre à manches et la chaleur récupérée aurait dépassé les besoins de l'usine. Le procédé proposé était le seul à permettre la récupération quasi totale des solvants ainsi que des solides contenus dans les boues. Par le fait même, il minimisait les incidences sur l'environnement.

1.4 Contenu du rapport

Le rapport décrit la mise en pratique du principe ainsi que la structure de l'usine et son fonctionnement, et fournit des données sur la performance de l'usine de démonstration.

2 USINE PILOTE

2.1 Taille de l'usine pilote

Dès le début du projet, on décida de construire une usine pilote de taille commerciale plutôt qu'expérimentale. Cette décision fut prise parce que, à l'époque, les corrélations entre les petits modèles et les grands semblaient très mauvaises. L'usine pilote fut construite au moindre coût, sans trop se soucier de la durée de vie probable des éléments, et en sachant très bien qu'un élément donné pourrait se révéler insatisfaisant et donc devoir être remplacé par autre chose. Il était entendu que par la suite les éléments donnant satisfaction seraient au besoin remplacés par des éléments plus robustes.

2.2 Schéma simplifié

Le procédé Volatilator™* est schématisé à la figure 3. Le produit (les boues de distillation) et le sable chaud sont introduits séparément dans un mélangeur-évaporateur. La chaleur du sable fait évaporer le solvant contenu dans les boues; si la chaleur est suffisante, la réaction s'accompagne d'un faible craquage. Les vapeurs sont dirigées vers le circuit de récupération des solvants. Le sable souillé par les matières non volatiles des boues est envoyé au réacteur. Le réacteur fonctionne dans des conditions substoechiométriques (c'est-à-dire pauvres en air), ce qui fait que la fraction résinique est partiellement brûlée et partiellement craquée, ce qui régénère le sable. Les produits de la réaction sont des gaz de pyrolyse, du coke, des cendres minérales et suffisamment de chaleur pour chauffer le sable à la température requise pour son recyclage dans le mélangeur-évaporateur. Les gaz de pyrolyse sont débarrassés des matières solides par passage dans des cyclones, avant d'être brûlés dans une chambre de postcombustion.

2.3 Emplacement de l'usine pilote

L'usine pilote (figure 4), installée à côté de la chaudière qui servait à la production de vapeur, occupait un espace d'environ 12 x 15 m. Une roulotte pour la surveillance, le stockage, et l'administration avait été installée à proximité. L'usine pilote comportait un mélangeur-évaporateur, un condenseur, un réacteur jumelé à un cyclone, un réservoir de stockage du sable et la tuyauterie nécessaire. Les gaz de pyrolyse étaient acheminés dans l'incinérateur existant pour être brûlés.

---

* ™: Marque de commerce.

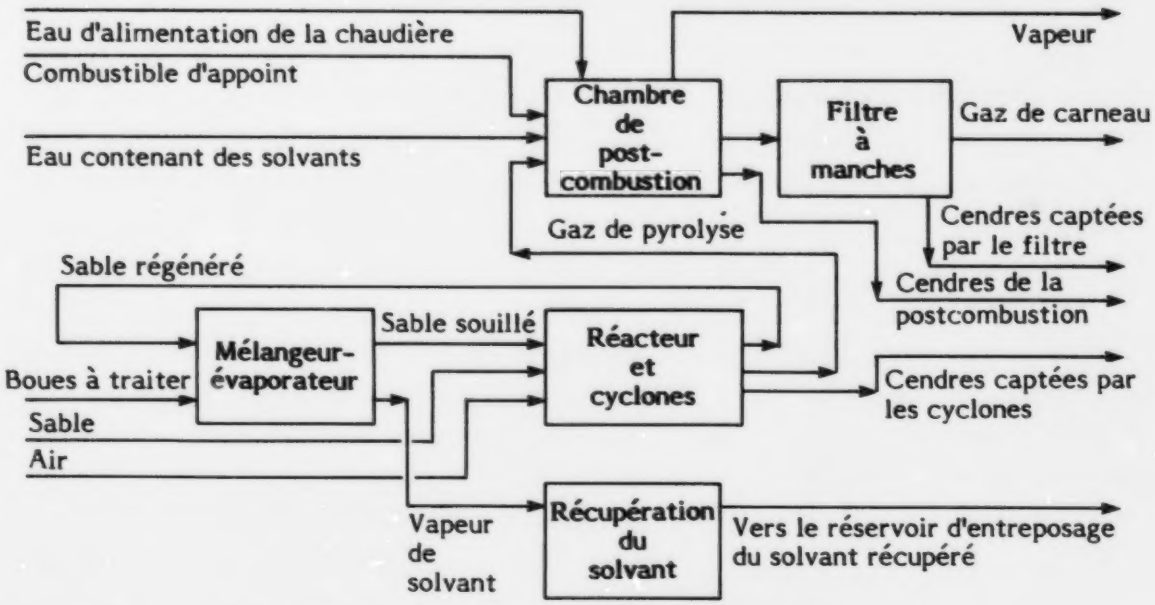


FIGURE 3 SCHÉMA SIMPLIFIÉ DU PROCÉDÉ *VOLATILATOR*

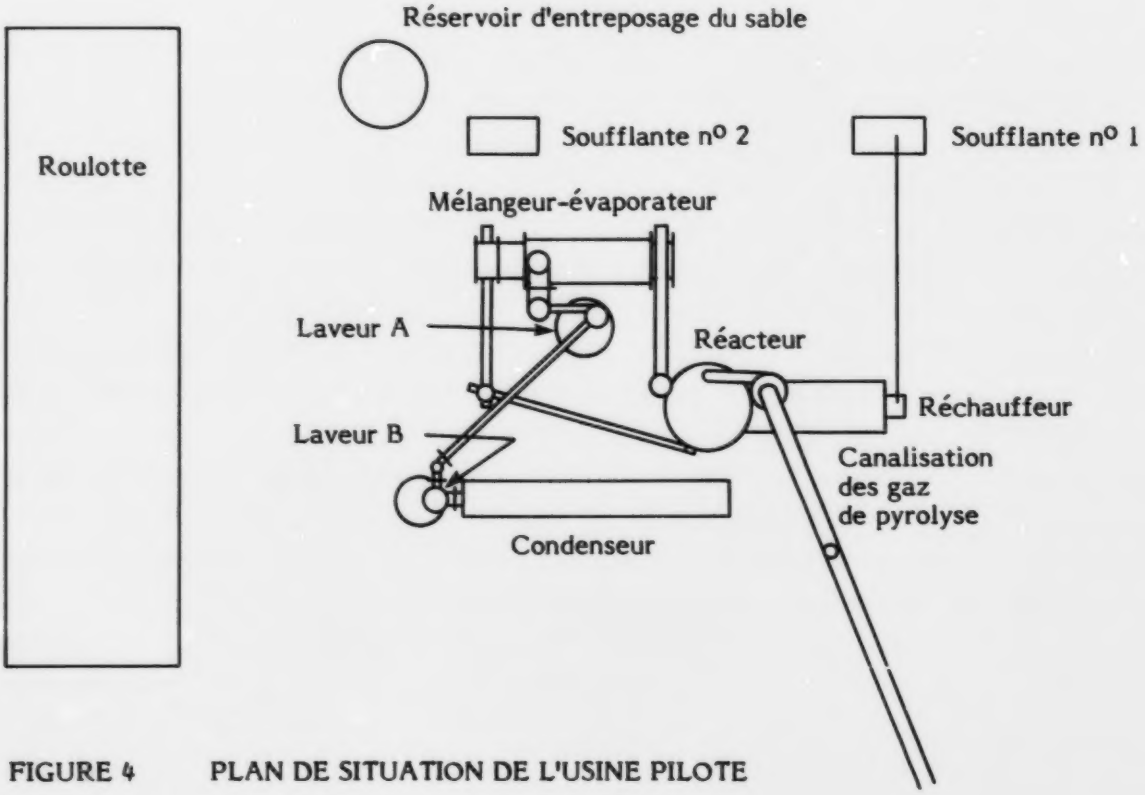


FIGURE 4 PLAN DE SITUATION DE L'USINE PILOTE

2.4 Mélangeur-évaporateur

La configuration de cet élément est donnée à la figure 5. Son rôle était de séparer les constituants volatils (solvant et eau) et non volatils (résines et minéraux) des boues par contact avec du sable chaud. Il était constitué de deux fûts superposés disposés à l'horizontale et reliés pour ne former qu'un seul récipient. Le fût inférieur constituait le mélangeur et le fût supérieur faisait office d'évaporateur.

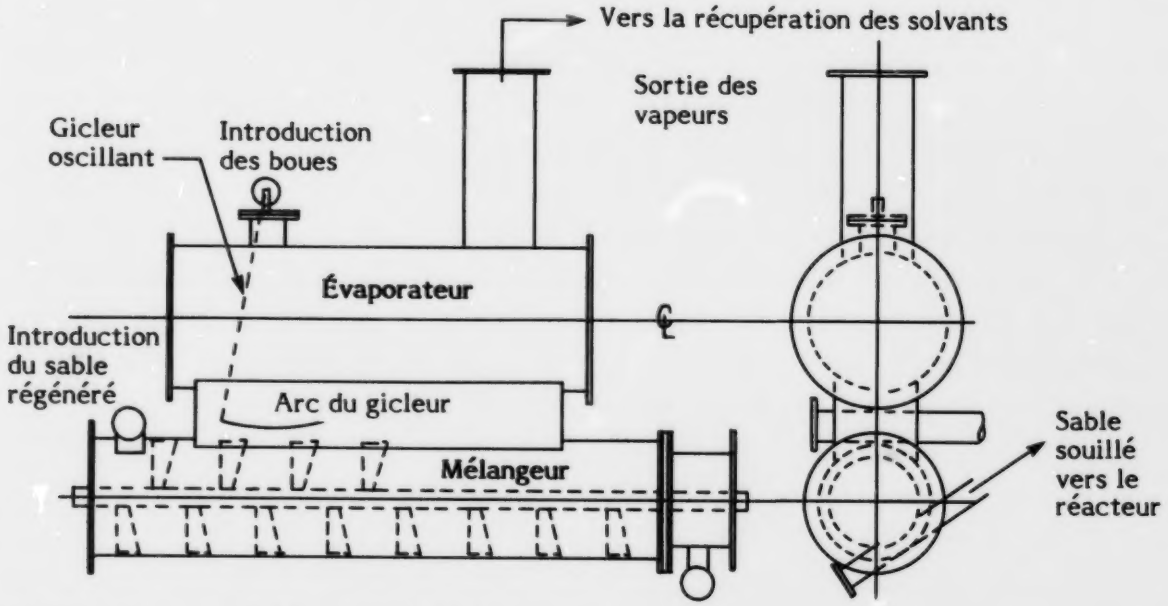


FIGURE 5 MÉLANGEUR-ÉVAPORATEUR

Le mélangeur mesurait 500 mm de diamètre et 2400 mm de longueur. Du côté admission, un tube horizontal de 150 mm de diamètre monté transversalement dans le haut amenait le sable régénéré au moyen d'une vis sans fin (vis d'amenée du sable régénéré, figure 5). Les boues étaient introduites au moyen d'une pompe volumétrique actionnée par un moteur de 90 V CC et 0,4 kW qui les extrayaient directement du système d'alimentation en boues de l'incinérateur. Les boues pompées étaient acheminées par un tuyau souple en inox jusqu'à un gicleur oscillant qui les répandait sur le lit de sable. Comme les boues se durcissaient au contact de surfaces immobiles, il fallait les mélanger rapidement au sable.

Le mélangeur était équipé de palettes montées sur un arbre de 70 mm tournant à environ 20 tr/mn. Ces palettes mélangeaient les boues au sable chaud, provoquant ainsi

l'évaporation du solvant. La partie non volatile adhérait aux particules de sable. Le mélange de sable souillé était entraîné par les palettes vers l'autre extrémité du mélangeur fermée par un déversoir en demi-cercle arrivant à la hauteur de l'arbre et tombait par un cône d'évacuation sur la vis sans fin inférieure. Les vapeurs produites passaient dans l'évaporateur. Une colonne montante de 250 mm puis une canalisation de 100 mm les entraînaient vers le laveur puis le condenseur.

2.5 Épuration des vapeurs et récupération des solvants

Les vapeurs dégagées des boues au contact du sable chaud contenaient du coke et d'autres solides, ainsi que de l'eau et du solvant. Le craquage d'une partie des résines entraînait la formation de particules de coke qui devaient être extraites de la phase vapeur, ce qui a été réalisé au moyen du système de recyclage illustré à la figure 6. Dans le premier laveur (A), les vapeurs étaient mises en contact avec un liquide de lavage (constitué de solvant récupéré) dans un cône de distillation à ruissellement se terminant par un venturi. Le mélange liquide-vapeurs était séparé dans une colonne; le liquide s'écoulait dans la cuve de décantation A et les vapeurs étaient dirigées vers le laveur B. Les solides extraits dans le laveur A étaient acheminés à l'état d'une pâte dans le réservoir de boues et donc recyclés dans l'évaporateur. De cette façon, le solvant qu'ils contenaient était réévaporé.

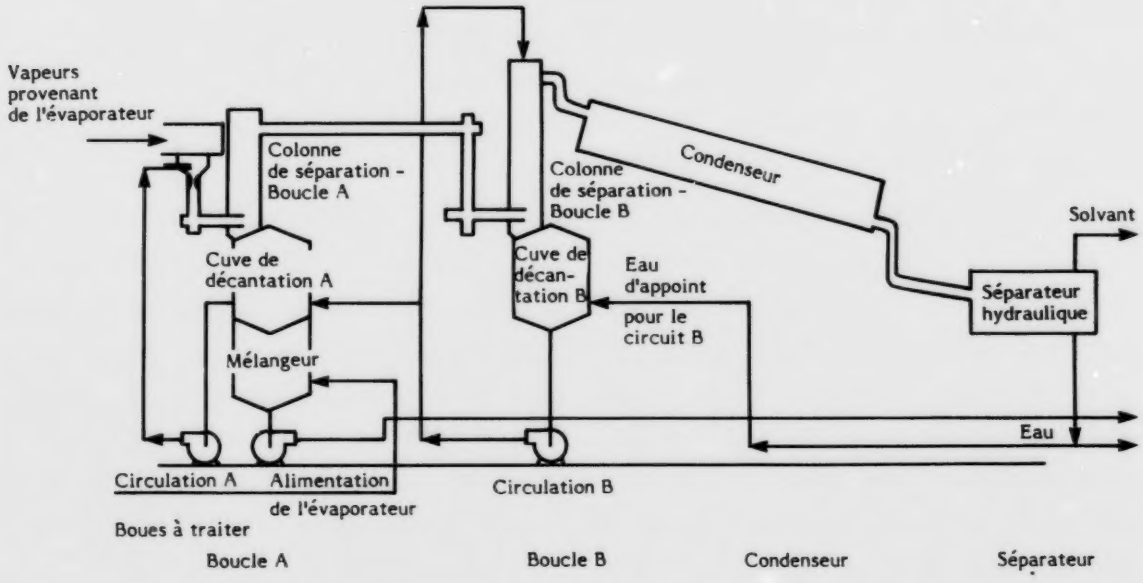


FIGURE 6 SYSTÈME D'ÉPURATION DES VAPEURS ET DE RÉCUPÉRATION DU SOLVANT

Le liquide de lavage du deuxième laveur était également du solvant récupéré. Les solides recueillis dans ce laveur étaient mélangés avec le solvant, ce qui était acceptable puisque celui-ci subissait un nouveau traitement ou était brûlé. Le solvant circulant dans le deuxième laveur servait aussi de liquide d'appoint pour le laveur A.

2.6 Réacteur

Le réacteur avait trois fonctions: éliminer les résidus de boues adsorbés sur le sable, réchauffer le sable à la température voulue pour provoquer l'évaporation du solvant dans le mélangeur et produire des gaz de pyrolyse en vue de la production de vapeur. La section réacteur comprenait le réacteur et le réchauffeur qui le précédait.

Le réacteur (figure 7) était un cylindre d'acier de 1200 mm de diamètre et 2750 mm de hauteur posé sur un cône de 810 mm de hauteur, qui se terminait par un raccord à collerette de 200 mm. L'unité reposait sur des pieds et la jonction du cylindre et du cône se trouvait à 2,1 m du sol. La partie supérieure était fermée par une plaque percée d'un trou d'homme avec une bride de 500 mm et d'un autre trou de 200 mm pour le carneau à gaz. L'extérieur du réacteur était isolé avec des plaques de magnésie préformées. L'intérieur, garni de réfractaire, comprenait un aspirateur-diffuseur, plusieurs thermocouples, un distributeur d'air secondaire et un orifice d'admission du sable souillé. L'aspirateur-diffuseur était un tube vertical de 200 mm de diamètre et 700 mm de hauteur, monté concentriquement, et qui partait à 300 mm du fond. Il servait à diriger l'air chaud venant du réchauffeur à l'intérieur du lit de sable pour favoriser la fluidisation.

Sept thermocouples avaient été installés dans le réacteur: un à la base du jet, environ 150 mm au-dessus de la gorge; trois dans l'espace annulaire nord, à peu près à la jonction du cylindre et du cône, à diverses distances du centre; un dans l'espace annulaire sud, à l'opposé des autres thermocouples; un au sommet du lit, du côté nord, environ 300 mm au-dessus des thermocouples de l'espace annulaire nord; et un dans l'espace libre, à 600 mm au-dessous de la sortie des gaz de pyrolyse.

L'air primaire était fourni par une turbosoufflante ayant une capacité d'environ 80 l/s. Cet air traversait d'abord le réchauffeur avant d'entrer dans le réacteur sous forme de jet. Il n'était préchauffé que si le réacteur ne pouvait pas produire suffisamment de chaleur, par exemple lors du démarrage ou lorsque les boues ne contenaient pas assez de produits combustibles. De l'air additionnel était fourni par la soufflante n° 2 pour contrôler la combustion dans le réacteur.

Le réchauffeur était un cylindre d'acier horizontal mesurant 2200 mm de longueur et 700 mm de diamètre. Le brûleur était monté sur une plaque d'extrémité fixée

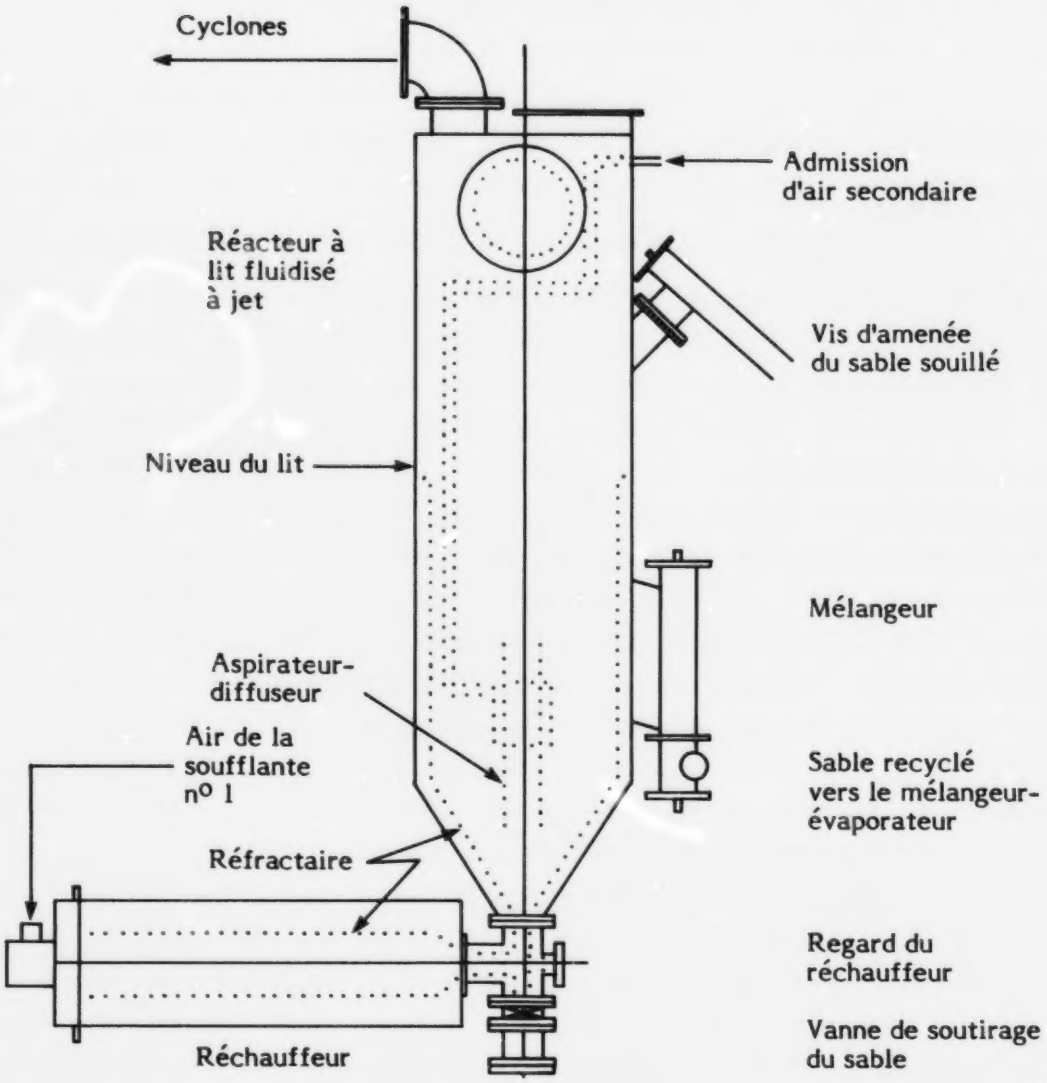


FIGURE 7 SCHÉMA DU RÉACTEUR

par bride. L'autre extrémité était fermée par une bride de même diamètre que le cylindre sur laquelle était fixé un regard de 100 mm refroidi à l'air. Le réchauffeur était isolé avec 180 mm de réfractaire, ce qui laissait un passage de 350 mm pour l'air chaud dirigé dans le réacteur par une tuyère placée à 300 mm de la tête d'aval du réchauffeur. Une autre tuyère, située sous le réchauffeur, permettait d'évacuer le sable qui retombait du réacteur dans le réchauffeur. À cet endroit, le réfractaire avait été façonné de manière à ce que le sable s'écoule facilement. La tuyère inférieure était munie d'un venturi et de vannes d'arrêt pour permettre l'évacuation du sable dans la trémie de stockage du sable.

Le brûleur était un TEMPEST II, haute intensité, apte à brûler deux combustibles. Il avait été choisi parce qu'il pouvait fonctionner à une pression supérieure à la pression ambiante. Sa capacité était de 150 kW.

Le sable souillé provenant de l'évaporateur était acheminé par des vis sans fin dans le réacteur, où il formait un lit. À l'instar d'un jet d'eau, l'air chaud venant du réchauffeur était éjecté à travers le lit de sable et le sable entraîné retombait en pluie dans le réacteur, d'où le nom de lit à jet. Ce jet assurait un contact étroit entre les particules de sable et les gaz chauds, de sorte que l'on atteignait rapidement un équilibre thermique et chimique. Une partie du sable qui retombait sur le lit s'écoulait par gravité dans une boîte de mélange par une fente de 600 mm de hauteur et 200 mm de largeur. Le reste descendait dans l'espace annulaire jusqu'à ce qu'il soit repris par le jet et retombe à la surface du lit. Les gaz de pyrolyse sortaient par le haut du réacteur et étaient dirigés vers un cyclone classique de 400 mm de diamètre.

Une partie des particules de peinture, des produits carbonisés et du sable fin était captée dans le cyclone. On donnait au mélange recueilli le nom de cendres. Les produits captés par le cyclone tombaient dans une chambre de sédimentation de 100 l. Les poussières sédimentées étaient extraites par une vis sans fin et acheminées dans un fût placé sur un convoyeur à rouleaux pour faciliter le changement des fûts. Le convoyeur se trouvait au niveau du sol.

Les gaz de pyrolyse étaient dirigés vers l'incinérateur existant par une conduite en acier isolée de 200 mm. Ils entraient dans la chambre de combustion en trois points situés dans un même plan, à 1200 mm de l'entrée de la chambre de combustion.

2.7 Système de transport du sable

Le système de transport du sable était l'un des éléments importants du procédé. Il devait amener du sable chaud dans le mélangeur-évaporateur afin de provoquer l'évaporation des solvants présents dans les boues. Le sable devait aussi véhiculer les

éléments non volatils des boues (résines et particules de peinture) qui sont brûlés dans le réacteur pour donner de la chaleur et des gaz de pyrolyse. Toutes ces fonctions devaient se faire avec un échange minimum de gaz entre le réacteur et l'évaporateur, pour éviter les pertes de solvant et la pollution du solvant. Le système, illustré à la figure 8, comprenait une boîte de mélange fixée au réacteur, une vis d'amenée du sable régénéré du réacteur au mélangeur-évaporateur via la boîte de mélange, et deux vis en série pour amener le sable souillé au réacteur.

La boîte de mélange était un cylindre muni de bras mélangeurs verticaux entraînés par un moteur de 90 V CC et 0,75 kW. La consommation de courant du moteur donnait une idée du niveau de sable dans la boîte et donc de l'épaisseur du lit dans le réacteur. On se basait surtout sur cette consommation pour mesurer l'épaisseur du lit. La vitesse à laquelle le sable sortait de la boîte de mélange dépendait de la vitesse de rotation de la vis sans fin.

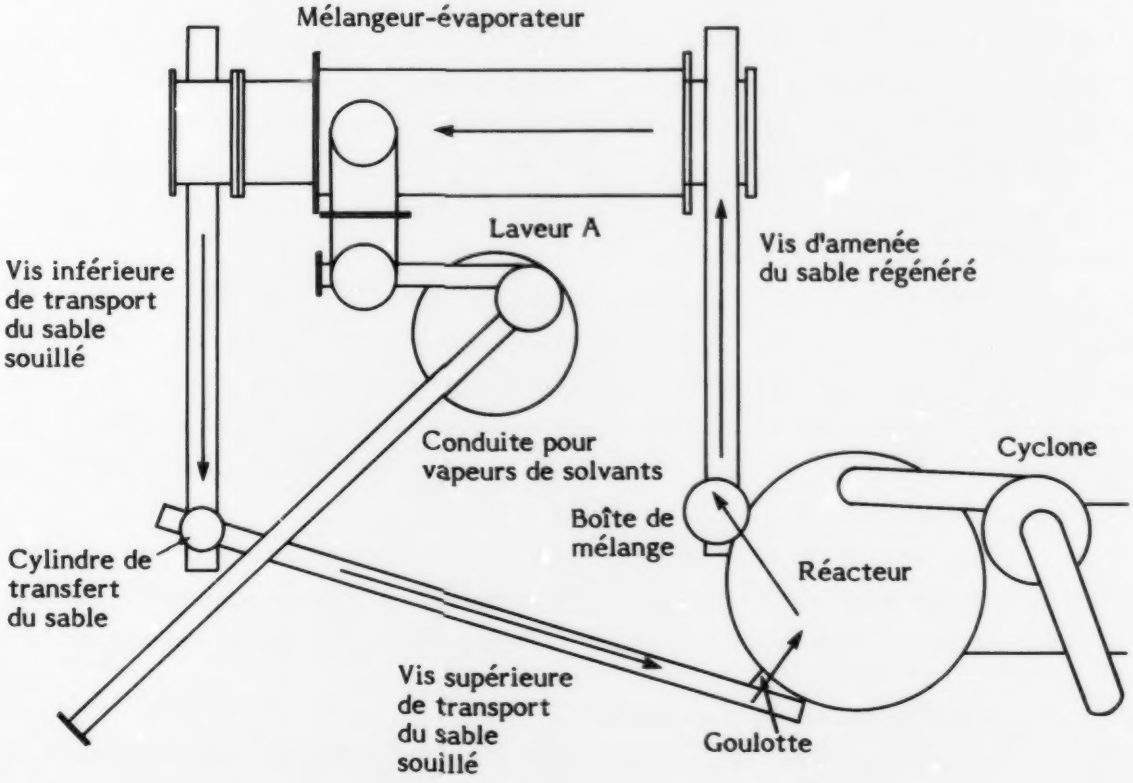


FIGURE 8 SYSTÈME DE TRANSPORT DU SABLE

La vis d'amenée du sable régénéré de la boîte de mélange au mélangeur avait un diamètre de 100 mm et une longueur de 2000 mm. Elle était entraînée par un moteur de 90 V CC et 0,75 kW, et logée dans un tuyau de 125 mm de diamètre.

Deux vis sans fin transportaient le sable souillé du mélangeur au réacteur. Le sable étant introduit dans le réacteur par une ouverture située à 3,6 m au-dessus du sol; le transport se faisait en deux étapes (figure 8) de façon à pouvoir utiliser des vis de longueur standard et éviter des angles trop prononcés qui annulent l'efficacité des vis. Les vis de 150 mm de diamètre et 2100 mm de longueur étaient montées à 40° par rapport à l'horizontale, à l'intérieur de conduites de 150 mm de diamètre. Elles étaient entraînées par un moteur de 110 V CA et 1,5 kW. À l'origine, les moteurs entraînaient les vis par l'intermédiaire de boîtes d'engrenage à arbre creux; comme elles avaient tendance à se bloquer, on les a remplacées par une transmission par chaîne et une boîte d'engrenage à arbre plein. Entre les deux vis, un cylindre vertical de 200 mm de diamètre et 600 mm de hauteur servait de relai pour le transfert du sable de la vis inférieure à la vis supérieure. Le sable était introduit dans le réacteur par une goulotte inclinée.

2.8 Stockage et transport du sable

La soufflante d'appoint (soufflante nº 2, figure 4) qui fournissait l'air auxiliaire pour le réacteur alimentait aussi le système de transport pneumatique du sable du réacteur au réservoir de stockage et vice versa.

Le réservoir de stockage du sable était cylindrique, à fond conique, monté sur un bâti métallique. Une trémie munie d'un venturi se trouvait sous le réservoir et le sable était acheminé par des conduites pneumatiques jusqu'au réacteur. Le sable était extrait du réacteur par un venturi similaire situé sous le réchauffeur du réacteur. L'air nécessaire pour les deux venturis était fourni par la soufflante d'appoint.

2.9 Épuration des gaz

Les gaz de pyrolyse sortant du réacteur étaient un mélange chaud d'azote, de composés combustibles et de particules (cendres, avec environ 20 p. 100 de coke et de goudrons). La plus grande partie des particules était extraite dans un cyclone; les solides recueillis tombaient dans une chambre de sédimentation d'où ils étaient évacués dans un fût au moyen d'une vis sans fin et d'une vanne d'arrêt. Les gaz sortant du cyclone n'étaient toutefois pas assez dépoussiérés et la conduite reliant le cyclone à la chambre de postcombustion avait tendance à s'encrasser. On a donc proposé de jumeler un laveur Ducon au cyclone dans l'usine de démonstration afin d'épurer plus à fond les gaz de carneau.

2.10 Systèmes de commande

Toutes les commandes se trouvaient dans une roulotte de 5 m qui servait aussi de point d'entrée pour l'électricité et les conduites d'air. Toutes les températures étaient contrôlées par un ordinateur Radio Shack TRS 80, modèle I, équipé d'un lecteur de disquette et d'une imprimante. Ces températures étaient affichées sur l'écran et certaines étaient imprimées sur un diagramme temps-température pour que l'on puisse suivre les tendances. Le fonctionnement des vis sans fin et des pompes était contrôlé par la consommation de courant de leurs moteurs respectifs. Les pressions dans le réacteur et l'évaporateur étaient contrôlées par des manomètres installés dans la roulotte. Les pressions dans le réchauffeur étaient contrôlées directement par des indicateurs de pression. On ne mesurait pas le débit d'air de la soufflante du réchauffeur, car elle était utilisée à pleine capacité; le débit dans le système de distribution d'air à l'intérieur du réacteur était estimé d'après la pression en aval du clapet de commande correspondant qui s'affichait sur un manomètre dans la roulotte. Ce clapet était réglé au besoin de façon à maintenir des températures données dans le réacteur. La quantité de solvant produit était affichée dans la roulotte.

2.11 Fonctionnement du procédé

2.11.1 Démarrage. - Le démarrage s'effectuait en trois étapes bien définies. Premièrement, on faisait fonctionner le lit à jet. Pour cela:

- On démarrait la chambre de postcombustion pour que tout gaz susceptible de se former dans le réacteur soit brûlé sans danger.
- On ajoutait la quantité de sable nécessaire pour maintenir la charge à 3 t environ.
- On démarrait la soufflante n° 1 et on dirigeait l'air dans le réacteur en passant par le réchauffeur. Le jet était alors établi.

Deuxièmement, le réacteur était porté à la température de fonctionnement. On allumait le réchauffeur pour chauffer le sable à l'air chaud. Lorsque la température du sable atteignait 425 °C, on actionnait les systèmes de transport du sable afin de porter la température des vis sans fin et du mélangeur-évaporateur à la température de fonctionnement.

La troisième étape allait du début de l'introduction des boues jusqu'au moment où l'on pouvait se passer du brûleur du réchauffeur. Une fois la température de fonctionnement atteinte, on actionnait les laveurs et les boues étaient introduites dans le mélangeur-évaporateur. On continuait ainsi jusqu'à ce qu'il y ait assez de combustibles dans le réacteur (sous forme de résine non craquée et de solides carbonisés) pour entretenir la combustion. La soufflante n° 2 permettait d'insuffler un supplément d'air dans le réacteur. Si la température dans le réacteur augmentait, cela signifiait que la

température du lit et son contenu en combustibles (résine et solides carbonisés) permettaient l'autocombustion. On arrêtait alors le brûleur du réchauffeur, ce qui augmentait l'apport d'oxygène au réacteur. Le débit des boues était réglé de façon à absorber la chaleur supplémentaire produite et à apporter plus de combustibles au réacteur. Les quantités d'air secondaire et de boues étaient réglées pour maintenir la température du réacteur dans les limites requises. Le procédé était alors en mode auto-entretenu, puisque la combustion des solides carbonisés dans le réacteur dégageait suffisamment de chaleur pour maintenir les réactions de craquage et donc la formation de solides carbonisés, et chauffer le sable à la température voulue pour provoquer l'évaporation des solvants contenus dans les boues introduites dans le mélangeur-évaporateur.

2.11.2 **Mode auto-entretenu.** - Le mode auto-entretenu était celui qu'il fallait atteindre. Les températures dans le réacteur et le mélangeur-évaporateur étaient d'importants indicateurs des conditions internes. Dans le mélangeur-évaporateur, le sable était refroidi par l'ajout des boues; la chute de température indiquait directement si le rapport sable/boues était convenable. La température du sable à la sortie permettait de savoir si tout le solvant avait été chassé des boues. Dans le réacteur, les températures indiquaient comment se déroulaient la combustion et la régénération du sable. Ainsi, si une augmentation du débit d'air secondaire provoquait le refroidissement du lit, cela signifiait que l'apport d'oxygène était adéquat mais que le contenu du lit en combustibles était peut-être insuffisant pour entretenir l'autocombustion. Il fallait dans ce cas remettre le brûleur du réchauffeur en marche et ne l'arrêter que lorsque la quantité de combustibles dans le lit permette que l'autocombustion reprenne. Tant que le contenu du lit en combustibles était adéquat, la température pouvait être contrôlée par l'apport d'air. Du fait des variations de la composition des boues, un tel mode de contrôle était plus fiable que n'importe quelles valeurs calculées. Le débit de boues maximal est fonction de la chute de température dans le mélangeur et de la capacité de maintenir des températures convenables dans le réacteur.

2.11.3 **Arrêt.** - Les opérations devaient être arrêtées à la fin de la semaine et chaque fois que des réparations ou des conditions anormales l'exigeaient. On procédait de la même manière que pour le démarrage, mais en sens inverse. On arrêtait l'apport de boues et d'air secondaire au réacteur. La circulation de sable était maintenue jusqu'à ce que le système ne contienne plus que du sable régénéré. On fermait la soufflante n° 1. Les systèmes auxiliaires, comme l'alimentation en eau de refroidissement, étaient arrêtés au fur et à mesure qu'ils devenaient inutiles. Le sable était, si possible, laissé dans le réacteur.

3 USINE DE DÉMONSTRATION

3.1 Introduction

Comme nous l'avons dit précédemment, l'usine pilote avait été construite à l'échelle commerciale, et il a été facile de la convertir en usine de démonstration. L'incinérateur a été modifié et sert uniquement de chambre de postcombustion; on a ajouté un filtre à manches pour dépoussiérer les gaz de carneau. À cette époque, Anachemia envisageait la possibilité de déménager l'ensemble des opérations de récupération de solvants. Cela a conduit à conserver toutes les parties de l'usine pilote susceptibles d'être utilisées dans l'usine de démonstration. La conversion consistait essentiellement à améliorer les caractéristiques intéressantes, revoir une partie de l'équipement et conserver le reste. De nombreuses modifications avaient été apportées à l'usine pilote depuis son démarrage en mai 1984, en raison surtout de problèmes de fonctionnement ou d'entretien. De plus, l'élimination des eaux usées polluées par des solvants, par injection dans la chambre de postcombustion, était devenue une partie importante de notre programme d'amélioration de la qualité de l'effluent rejeté. La teneur en solvants des eaux usées pouvait varier d'une DCO (demande chimique en oxygène) de 20 000 mg/l à 20 p. 100 en masse. On dit que ces eaux sont "brûlées" dans la chambre de postcombustion. En fait, certaines contiennent suffisamment de solvants pour porter l'eau et les produits de combustion à la température des gaz évacués. Néanmoins, pour l'essentiel, le système est resté tel qu'illustré à la figure 3. Les changements effectués jusqu'en mars 1987 sont décrits ci-dessous.

3.2 Mélangeur-évaporateur

Le mélangeur-évaporateur a été remplacé par une unité semblable excepté que les parois du mélangeur sont plus épaisses. Les boîtes à garniture de l'arbre des palettes ont été remplacées par des lanternes purgées à la vapeur pour empêcher les vapeurs de solvant de s'échapper. Le mode d'évacuation du sable a été revu. Auparavant, le sable tombait par un cône sur la vis de transport du sable souillé. Cette vis a été remontée de façon à faire intersection avec le mélangeur dans un tambour spécial de sortie. Ce tambour est muni de palettes qui permettent de râcler les parois du tambour sans toucher à la vis et de pousser le sable dans celle-ci.

3.3 Récupération des solvants et épuration des vapeurs

Les vapeurs provenant du mélangeur-évaporateur traversent deux laveurs en série qui extraient les particules entraînées. Celles-ci sont recyclées dans le mélangeur-

évaporateur avec les boues. Le premier laveur est un cyclone constitué d'un cône assez court muni d'une vanne à manchon déformable dans la partie inférieure. On utilise un liquide de lavage à point d'ébullition élevé obtenu par condensation des composés peu volatils des vapeurs. La vanne à manchon assure un contact intime entre les vapeurs et le liquide de lavage; le mélange liquide-vapeurs passe dans un séparateur. Celui-ci est muni d'une vanne qui évacue un petit volume de liquide de lavage dans le réservoir à boues situé juste au-dessous. Ainsi, les solides extraits des vapeurs sont recyclés dans le mélangeur-évaporateur avec les boues jusqu'à ce qu'ils soient entraînés par le sable. Le deuxième laveur est une tour remplie d'éléments en céramique mouillés par du solvant recirculé. Les vapeurs épurées vont à un condenseur tubulaire. Le condensat, constitué d'eau et de solvant, est pompé vers un réservoir de stockage. Le séparateur hydraulique utilisé au début pour séparer les deux phases a été éliminé, car on s'est aperçu qu'il était plus facile de laisser la séparation se faire dans le réservoir de stockage.

3.4 Réacteur

La hauteur du réacteur a été augmentée de 760 mm et la plaque supérieure a été remplacée, car elle avait été endommagée par le jet de sable. Une chicane a été ajoutée à la sortie pour réduire la quantité de particules entraînées vers le cyclone. Le réfractaire a été changé. L'isolant extérieur a été remplacé par 50 mm de Kaowool et un treillis métallique recouvert d'un revêtement asphaltique étanche. On peut avoir accès au corps du réacteur pour l'entretien ou le remplacement d'éléments avec le minimum de dommages.

3.5 Réchauffeur

Lorsque l'on ferme la soufflante, il y a inévitablement du sable qui tombe du réacteur dans la chambre de combustion du réchauffeur. Le cône utilisé dans l'usine pilote pour évacuer le sable n'était pas entièrement satisfaisant; il restait toujours du sable dans la chambre de combustion, ce qui réduisait l'entrée d'air. Pour corriger ce problème, on a construit une nouvelle chambre de combustion et modifié le raccordement au réacteur afin de mieux contenir le sable dans l'espace d'où il est évacué pneumatiquement vers le réservoir de stockage. La vanne Lowe qui fermait la conduite d'amenée du sable au réservoir a été remplacée par une vanne à guillotine. Ce nouvel arrangement donne satisfaction.

La température dans la chambre de combustion peut être très élevée; en fait, le revêtement réfractaire avait été détruit à une occasion. La nouvelle chambre a donc

été revêtue de deux couches de réfractaire: une couche intérieure en matériau résistant aux hautes températures et une couche extérieure en matériau résistant moins bien aux hautes températures mais ayant un meilleur pouvoir isolant.

3.6 Système de transport du sable

Les boîtes d'engrenage des vis sans fin transportant le sable souillé ont causé des problèmes que l'on attribue à l'infiltration de particules de sable dans les joints. Elles ont donc été remplacées par des entraînements à chaîne qui sont plus fiables.

3.7 Épuration des gaz

L'extraction des solides minéraux et du coke des gaz de pyrolyse était faite dans des cyclones installés en série en aval du réacteur, et les gaz épurés étaient dirigés dans la chambre de postcombustion. Toutefois, même après la traversée des cyclones, les gaz de pyrolyse contenaient encore du coke et des liquides à point d'ébullition élevé qui encrassaient la conduite. Un laveur Ducon-Micropul fut installé entre le cyclone jumelé au réacteur et la chambre de postcombustion. Il perturbait cependant l'équilibre barométrique des cyclones. Toutes les particules présentes dans les gaz de pyrolyse devaient donc être captées par le laveur, ce qui était impossible. On a donc abandonné le laveur. On a résolu la difficulté en isolant la conduite d'amenée des gaz à la chambre de postcombustion afin d'éviter la condensation et donc l'encrassement de cette conduite.

3.8 Incinération et production de vapeur

La totalité des gaz de pyrolyse doit être brûlée et les produits de combustion ne peuvent être libérés dans l'atmosphère que s'ils répondent aux exigences de l'Ordonnance du MEO du 4 juin 1984 et aux conditions du Certificat d'agrément du 5 mai 1986. Ces exigences sont étudiées au chapitre 4. Des simulations avaient permis de montrer que l'incinérateur de boues pouvait être modifié pour faire fonction de chambre de postcombustion. Il s'agissait d'un four cylindrique horizontal, d'environ 8,6 m de long et 0,66 m de diamètre, raccordé à la face chaude d'une chaudière de récupération à tubes de fumée. L'air de combustion était fourni par un ventilateur de soufflage d'une capacité de 4,7 m^3/s. La plus grande partie des gaz de carneau était rejetée à l'atmosphère par une cheminée de 1,14 m de diamètre, garnie de réfractaire, qui surmontait la face chaude de la chaudière.

La chaudière (2,35 MW) était conçue pour produire 3,76 t/h de vapeur à 965 kPa; normalement, on atteignait à peine 50 p. 100 de cette capacité. Un ventilateur de tirage forçait les gaz de carneau dans les tubes de fumée, et les gaz refroidis étaient

évacués par la cheminée de la chaudière (0,76 m de diamètre). Tous les gaz qui ne traversaient pas les tubes de fumée étaient évacués par la cheminée de 1,14 m de diamètre.

Pour que l'incinérateur puisse servir de chambre de postcombustion, il fallait le modifier. Un couvercle fut placé sur la première cheminée pour forcer tous les gaz de carneau à traverser la chaudière. Comme ce couvercle devait faire office de soupape de sécurité en cas d'explosion, on a installé un modèle articulé à déclic qui s'ouvrirait advenant une pression excessive. Dans les conditions normales, un peu d'air entrait dans le foyer par cette ouverture en raison de la pression négative induite par le tirage. La capacité du ventilateur de soufflage était trop grande pour ne maintenir qu'un léger excès d'air et atteindre les températures requises dans la chambre de postcombustion, même lorsque les registres de tirage étaient fermés. Il a donc fallu réduire sa capacité et revoir l'arrangement des registres.

Le ventilateur de tirage et le registre à la sortie de la chaudière servent maintenant de réglage fin pour maintenir une pression négative dans le foyer au lieu de contrôler la quantité de gaz traversant les tubes de la chaudière. La vapeur produite dans la chaudière sert à refroidir les gaz de carneau à environ 315 °C. Ces gaz sont dirigés vers un filtre à manches, sauf pendant la période où celles-ci sont secouées. De l'air est insufflé pour refroidir les gaz à moins de 205 °C de façon à protéger les manches du filtre.

La structure de la chaudière n'a pas été modifiée, mais son fonctionnement est quelque peu différent vu que tous les gaz de carneau, et non plus une partie seulement, passent dans la chaudière. Du fait de la production accrue de vapeur et des irrégularités de la charge, il y a parfois surproduction de vapeur et des problèmes de surchauffage. Vu que l'on ne peut pas agir assez rapidement sur la production des gaz de pyrolyse pour éviter la surproduction de vapeur, on a ajouté une soupape de décharge de vapeur et un silencieux. Selon les instructions du MEO, on ne peut brûler des gaz de pyrolyse ou des solvants contenant du chlore que lorsque la température du foyer est supérieure à 950 °C; on utilise donc du mazout n° 2 pour les démarrages.

3.9 Épurateur sec

Le chlore présent dans le combustible ou les gaz de pyrolyse se trouve converti en acide chlorhydrique dans la chambre de postcombustion. Il est extrait par un épurateur à chaux qui nécessite l'ajout de chaux pulvérulente dans les gaz de carneau après la sortie de la chaudière. La poussière de chaux est arrêtée avec les autres particules dans le filtre à manches.

3.10 Filtre à manches

Le filtre à manches reçoit tous les gaz de carneau provenant de la chaudière, plus l'air de refroidissement admis. Les particules sont constituées de poussières de chaux et de solides minéraux des gaz de pyrolyse (le coke a été brûlé). Le filtre est un modèle Wheelabrator d'une capacité de 9,44 m^3/s (20 000 pi^3/mn). Il est constitué de deux chambres en parallèle contenant chacune 180 manches Nomex. Une soufflante, à la sortie, extrait les gaz et les évacue vers la cheminée. Cette cheminée est munie d'ouvertures pour l'échantillonnage isocinétique des gaz. Les filtres sont isolés pour empêcher la condensation dans les coins, ce qui réduirait le débit.

Au fur et à mesure que les poussières s'accumulent dans les manches, la quantité totale d'air qui les traverse diminue si la puissance de la soufflante reste la même. Cela réduit l'apport d'air de refroidissement puisque la quantité de gaz évacués est fixée par les deux ventilateurs de soufflage et de tirage. Il s'ensuit une augmentation de la température des gaz de carneau admis. Lorsque la température de consigne fixée pour les manches Nomex est atteinte, celles-ci doivent être secouées. Cette opération est commandée par le Contrôleur logique programmable dont on parle plus loin.

3.11 Systèmes de commande

Deux contrôleurs logiques programmables (CLP) ont été installés pour améliorer le fonctionnement de l'usine de démonstration et de la chambre de postcombustion. Une unité contrôle la partie volatilisation, c'est-à-dire tout ce qui précède la chambre de postcombustion; l'autre CLP contrôle la postcombustion, l'épurateur à chaux et le filtre à manches. Un modèle relativement simple, le SYMAX 8009, a été choisi étant donné que c'était la première expérience du genre chez Anachemia. On avait estimé que dans un certain nombre de circonstances, les conditions du procédé devaient être réglées de façon logique mais complexe, et que dans d'autres, il était impossible que l'opérateur ait le temps de tout faire. Les CLP facilitent beaucoup la tâche de l'opérateur. Ainsi, l'arrêt d'un élément interrompt ou déclenche automatiquement le fonctionnement d'autres éléments pour minimiser le temps d'arrêt. Des voyants, commandés par les CLP, permettent à l'opérateur de suivre le procédé d'un bout à l'autre.

Le CLP contrôlant la partie volatilisation a été programmé pour surveiller les conditions suivantes afin de maximiser le fonctionnement.

- Dans le circuit de transport du sable, une vis ne peut fonctionner si celle en aval est en panne. Cela évite l'accumulation de sable dans une vis immobilisée.
- Les boues ne peuvent être injectées si le sable ne circule pas.
- Les boues ne peuvent être injectées si le système d'épuration des vapeurs ne fonctionne pas.

L'unité de contrôle de la postcombustion améliore le fonctionnement en surveillant ou imposant les conditions suivantes:

- Interrupteur arrêt d'urgence
- Purge totale du foyer
- Température limite supérieure et inférieure - foyer
- Pression du ventilateur de soufflage
- Limites de pression de la chaudière
- Niveau d'eau dans la chaudière
- Température limite - filtre à manches
- Arrêt de la flamme
- Brûleur gaz de pyrolyse ON
- Volatilisation, BLOWERS ON autorisé
- Volatilisation, FEED ON autorisé
- Soufflerie - filtre à manches
- Pompe à combustible d'appoint
- Cycle de secouage des manches

La plupart des conditions indispensables à un fonctionnement sûr sont ainsi contrôlées. Celles qui varient de façon continue, comme le débit du combustible d'appoint, sont commandées par le technicien.

3.12 Études de simulation

Lors de la conversion de l'usine pilote en usine de démonstration, on a apporté des changements importants à l'incinérateur et à la chaudière afin d'en faire une chambre de postcombustion acceptable. Pour vérifier que les conditions de fonctionnement proposées convenaient, les calculs du bilan de matières et du bilan thermique pour le réacteur, le laveur Ducon, la chambre de postcombustion et la chaudière de récupération ont été faits à l'aide d'une série de modèles cherchant à établir les relations entre la production de vapeur, l'injection d'eaux usées, l'excès d'air et le taux de production des gaz de pyrolyse. Chacun des modèles, à l'exception de celui du réacteur, devait partir des valeurs calculées pour un cas précis, pour le modèle immédiatement en amont. Par conséquent, un ensemble de conditions pour une simulation de la chaudière dépendait d'une séquence connue pour le réacteur, le laveur Ducon et la chambre de postcombustion. Ce lien rigide entre les modèles nous garantissait que les résultats finaux, s'ils étaient satisfaisants, ne résultaient pas de quelque glissement des conditions limites passé inaperçu. Cela nous donnait également de meilleures méthodes de calcul des propriétés physiques comme l'enthalpie, et nous permettait d'explorer beaucoup plus de conditions que l'on aurait pu en envisager en faisant des calculs manuels. Ces ensembles de conditions nous donnaient alors une vue de l'importance des diverses variables et de leurs relations, pour la chambre de postcombustion, la chaudière et le filtre à manches.

L'incinération des eaux usées contenant des solvants dans la chambre de postcombustion est un élément important de notre programme de contrôle de la qualité

des effluents. Toutefois, cela modifie les relations entre l'excès d'oxygène, la température du foyer et le temps de séjour des gaz dans le foyer. La figure 9 illustre comment l'excès d'air nécessaire pour atteindre une certaine température dans le foyer dépend du taux d'alimentation en eaux usées et comment cela influe sur le temps de séjour des gaz dans le foyer. Un temps de séjour suffisant, à la température minimale (ou au-dessus), est indispensable pour détruire les dioxines et les furannes s'il venait à s'en former dans le foyer.

Voici les résultats des études de simulation:

1) La température des gaz de carneau diminuait lorsque la température du foyer augmentait. Le débit de ces gaz est fonction de leur masse et de leur température. Une augmentation de l'excès d'air se traduit par un plus grand débit massique et une baisse de la température à la face chaude de la chaudière. Il en résulte une diminution des transferts de chaleur (et donc de la production de vapeur) de sorte que la masse accrue de gaz de carneau est aussi plus chaude. L'effet de l'injection d'eaux usées est généralement de réduire la température du foyer à un taux donné d'excès d'air.

2) On pouvait injecter jusqu'à 0,4 t/h d'eaux usées lorsque les températures du foyer étaient élevées.

3) Le temps de séjour (0,75 s) prescrit par le MEO pour garantir la destruction des dioxines et des furannes, s'il venait à s'en former, est atteint quelle que soit la quantité d'eaux usées injectée pourvu que la température du foyer soit d'au moins 980 °C.

4) À une température donnée du foyer, le temps de séjour est plus long lorsque le taux d'injection d'eaux usées est élevé. Ces deux résultats sont souhaitables.

Pour protéger les manches du filtre, la température des gaz quittant la chaudière est abaissée par l'insufflation d'air. La quantité d'air admise se limite à la différence entre la capacité de la soufflante du filtre et le débit des gaz sortant de la chaudière. Comme nous le disions plus haut, plus le débit de gaz est élevé, plus ces gaz sont chauds. L'excès d'air et la température du foyer sont donc des variables très importantes.

3.13 Performance

3.13.1 Essai 26, du 15 au 23 décembre 1986. - Pour juger de la performance, nous avons pris pour exemple le bilan de matières de l'essai 26 (tableau 1), qui s'est déroulé du 15 au 23 décembre 1986, et où l'on a atteint les taux et les temps prévus. Notons que certains écoulements (eau de la récupération du solvant et gaz de pyrolyse) sont des écoulements internes et sont donc omis.

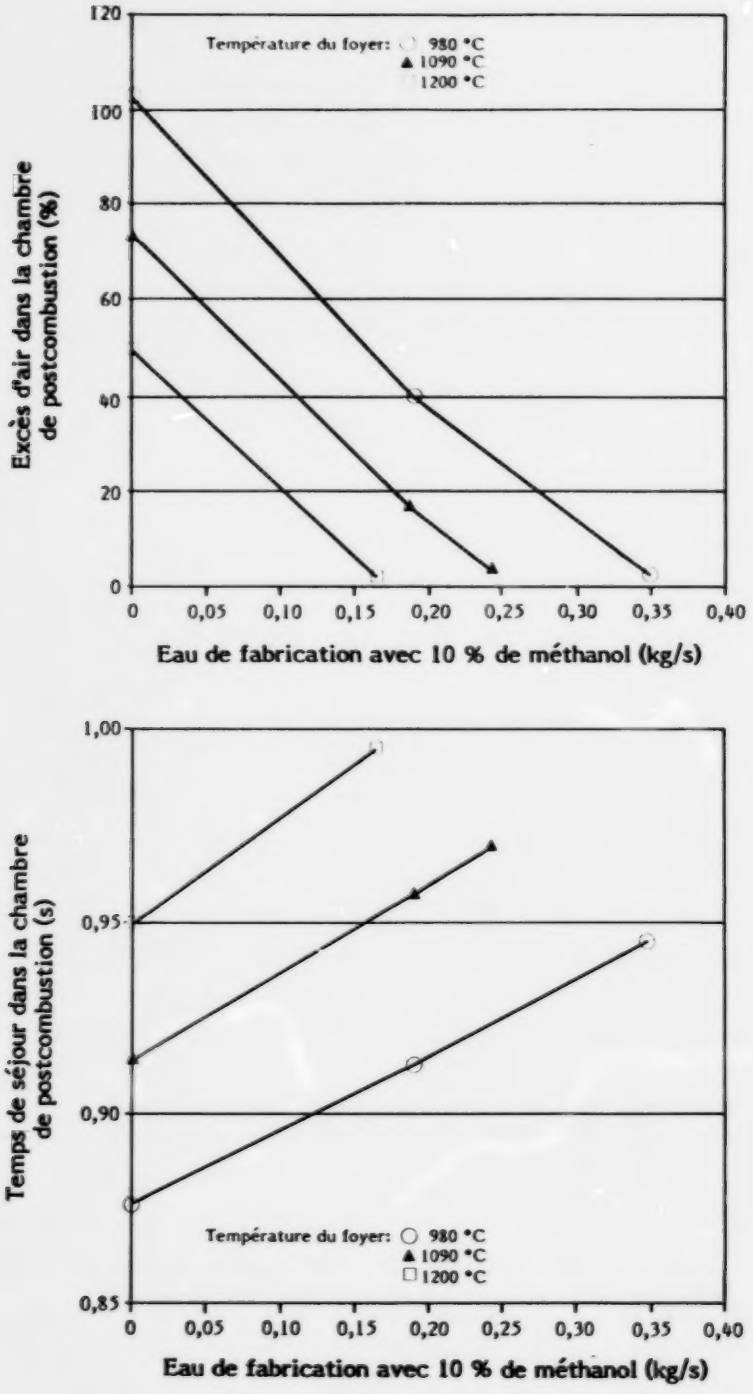


FIGURE 9 EFFET DE L'INJECTION D'EAUX USÉES SUR LE FONCTIONNEMENT DE LA CHAMBRE DE POSTCOMBUSTION

TABLEAU 1 BILAN DE MATIÈRES (en tonnes) DE L'ESSAI 26
(du 15 au 23 décembre 1986)

(A) Évaporateur et réacteur		
Entrée:	Boues injectées	56
	Air pour le réacteur	44
	Sable	2
	Mazout	2
	TOTAL	104
Sortie:	Solvant	18
	Eau	9
	Cendres	7
	Gaz de pyrolyse	70
	TOTAL	104
(B) Postcombustion		
Entrée:	Gaz de pyrolyse	70
	Solvant comme combustible d'appoint	14
	Air (excès de 100 %)	1697
	Chaux pour l'épurateur	0,1
	Eaux usées contenant des solvants	36
	TOTAL	1817,1
Sortie:	Gaz de carneau	1815
	Cendres	2
	TOTAL	1817
(C) Évaporateur, réacteur et postcombustion combinés		
Entrée:	Boues injectées	56
	Air pour le réacteur	44
	Sable	2
	Mazout	2
	Air pour la postcombustion (excès de 100 %)	1697
	Chaux pour l'épurateur	0,1
	Eaux usées contenant des solvants (net)	27
	TOTAL	1828,1
Sortie:	Solvant	4
	Cendres	9
	Gaz de carneau	1815
	TOTAL	1828

Sur 120 h de travail, le système a été en opération pendant 92 h. On a pu injecter des boues pendant 66 h à un taux moyen de 14,1 kg/mn et on a pu récupérer 18 tonnes de solvant. La chambre de postcombustion a fonctionné pendant 95,5 h; 271 tonnes de vapeur ont été produites et 36 tonnes d'eaux usées contenant des solvants ont été injectées dans le foyer. (Neuf tonnes provenaient des opérations de récupération du solvant dans l'usine de démonstration et le reste, des opérations courantes d'Anachemia.) Une partie des solvants récupérés a été utilisée comme combustible d'appoint dans la chambre de postcombustion. La quantité requise dépend de la performance de l'usine. Le bilan thermique de cette essai est donné au tableau 2. Remarquons que les eaux usées figurent sous deux rubriques soit solvants (sources de chaleur) et eau (dissipateurs de chaleur).

TABLEAU 2 BILAN THERMIQUE DE L'ESSAI 26 (du 15 au 23 décembre 1986)

Postcombustion et chaudière	Tonnes	Gigajoules
Sources de chaleur		
Combustibles des gaz de pyrolyse	36	1340
Solvant utilisé comme combustible	14	521
Solvant contenu dans les eaux usées*	4	112
TOTAL	54	1973
Dissipateurs de chaleur		
Production de vapeur	510	1217
Gaz de carneau	1815	560
Eau contenue dans les eaux usées*	32	96
Pertes (5 %)		100
TOTAL		1973

* Les eaux usées contenaient 4 tonnes de solvant et 32 tonnes d'eau.

3.13.2 Résumé de la performance du système de septembre à mars. - La performance du système a été suivie de septembre 1986 à mars 1987. Une partie des données est résumée ci-après, mais on peut obtenir plus de détails sur demande.

Avant déduction des divers crédits, les frais de fonctionnement pour la période se sont élevés à 174 000 $, ou 255 $/t de boues traitées. Ce montant comprend 1000 $ par semaine en frais d'entretien, mais pas l'amortissement des investissements. On a produit

5420 tonnes de vapeur en 2400 h de fonctionnement. Les gaz de pyrolyse étaient le principal combustible ou, du moins, représentaient un apport important pendant 40 p. 100 du temps environ; on complétait avec du solvant récupéré. Néanmoins, la production nette de solvant a été de 155 tonnes ou 22 p. 100 des boues injectées. La contribution nette aux bénéfices représentait 100 000 $.

L'entretien de l'équipement a été un problème constant dans l'usine de démonstration et, à cet égard, le système n'est pas encore optimisé. Entre septembre et mars, il a fallu faire 133 interventions d'entretien.

Le système de transport des solides est celui qui a exigé le plus d'entretien (50 interventions en tout) soit 14 pour le système de transport du sable, 15 pour le cyclone, 2 cas d'obstruction du réchauffeur et obstruction à 15 reprises des tubes de la chaudière qu'il a fallu nettoyer chaque semaine. Pour le transport du sable, il faudrait des vis de plus gros diamètre et moins inclinées et qui fonctionneraient plus lentement. Les autres opérations d'entretien fréquentes concernaient le réacteur (18 interventions); les réparations qu'il a fallu effectuer sont attribuables aux contraintes exercées par la température et le sable en mouvement.

Fiabilité: le passé et l'avenir. - Lors des huit essais effectuées du 5 janvier au 2 mars 1987, environ 50 p. 100 du temps a été consacré à des opérations d'entretien, si bien que des boues n'ont pu être injectées que pendant environ 50 p. 100 du temps de fonctionnement enregistré. C'est de toute évidence un procédé qui demande beaucoup d'attention. On estime que la performance pourrait être considérablement améliorée en utilisant de l'équipement de meilleure qualité.

Le débit des gaz sortant de la chaudière s'élevait à 66 m^3/s et leur température était de 325 °C environ. Il a fallu insuffler de l'air de refroidissement pour que la température au filtre à manches reste dans les limites prévues.

4 EFFETS SUR L'ENVIRONNEMENT

4.1 Introduction

L'utilisation de ce procédé a permis de réduire l'émission de solides d'environ 9 tonnes par semaine, d'abaisser la demande en oxygène de l'effluent rejeté par notre usine, et d'abaisser aussi la lixiviabilité des résidus solides produits dans le cadre de nos opérations de récupération des solvants. Grâce à ce procédé, Anachemia a pu poursuivre le recyclage des solvants contenus dans les mélanges de peintures et améliorer le rendement de ses opérations de recyclage. Le procédé permet donc de réduire la charge que l'enfouissement des mélanges de peintures imposerait à l'environnement.

4.2 Agrément du ministère de l'Environnement de l'Ontario

L'Ordonnance du MEO, émise le 4 juin 1984, exige que l'on se conforme au Règlement 309 de la province en ce qui concerne les émissions d'acide chlorhydrique, de particules, d'anhydride sulfureux et de métaux lourds, notamment Pb, Cd, Hg, Ni, Cu, Zn, Mn, Cr et Fe. De plus, on a informé la société Anachemia des conditions qu'elle devrait remplir avant de se voir accorder un Certificat d'agrément pour de nouvelles installations. Pour garantir la destruction des furannes et des dioxines, s'il venait à s'en former, la température de la chambre de postcombustion doit être d'au moins 955 °C si l'on brûle des produits contenant du chlore. Par ailleurs, il est interdit de rejeter à l'atmosphère des gaz non épurés dans des laveurs ou des dépoussiéreurs. Un Certificat d'agrément ne sera délivré que lorsque l'on aura constaté que les émissions réelles, mesurées dans les conditions normales de fonctionnement, sont dans les limites prescrites.

Précédemment, les matières solides qui n'étaient pas évacuées à l'atmosphère avec les gaz étaient enfouies dans une décharge municipale. En vertu du Certificat d'agrément, toutes les matières solides recueillies sont assujetties aux dispositions de la *Loi sur la protection de l'environnement* et leur enfouissement dans une décharge municipale n'est permis que si l'essai de lixiviation exposé ci-dessous est concluant.

4.3 Élimination des solides

Une des conséquences de l'utilisation de ce procédé plutôt que la simple incinération est qu'elle permet de recueillir chaque semaine 9 tonnes de solides qui auparavant étaient rejetés dans l'atmosphère. Ces solides, s'ils sont incorporés dans un produit vendable, ne sont pas visés par le MEO; autrement, ils doivent être enfouis dans une décharge où ils ne présenteront pas de risque pour l'environnement. Anachemia étudie

la possibilité de vendre ces cendres, mais les démarches ne sont pas suffisamment avancées pour qu'on puisse en parler dans ce rapport.

L'élimination des cendres non incorporées dans un autre produit dépend de leurs propriétés. Un des essais exigés par le MEO est la lixiviation. Un échantillon du matériau est soumis à un essai de lixiviation au moyen d'une solution faiblement acide. On dose ensuite les espèces chimiques listées dans l'Annexe 4 du Règlement 309 de la *Loi sur la protection de l'environnement*. Les déchets n'auront pas à être enregistrés tant que les teneurs en ces espèces n'excèdent pas les limites fixées par un facteur de 10. Dans ces conditions, ils peuvent être enfouis dans une décharge municipale. Si, en revanche, leur teneur est de 10 à 100 fois supérieure aux limites fixées dans l'Annexe 4, les déchets doivent être enregistrés et ne peuvent être envoyés à une décharge municipale qu'après approbation des autorités municipales. Dans tous les autres cas, les déchets doivent être envoyés à une décharge autorisée.

Les cendres obtenues avec notre procédé ne répondent pas aux exigences fixées par l'essai de lixiviation du MEO, car les teneurs ioniques en plomb et en cadmium sont plus de 100 fois supérieures aux teneurs permises. Toutefois, ces espèces ioniques peuvent être transformées chimiquement en substances moins facilement lessivables; c'est ce que l'on appelle les fixer. Les déchets "fixés" peuvent alors devenir non enregistrables. On a proposé comme agent de fixation le produit commercial "Stablestone". Le vendeur prétend que des cendres fixées avec 10 p. 100 de Stablestone peuvent être transformées en un déchet conforme. Nous avons eu recours à un tel traitement et les cendres traitées jusqu'ici produisent normalement un déchet acceptable. Nous attendons le verdict du MEO.

4.4 Qualité de l'air

Par rapport aux opérations antérieures, les émissions de particules ont été réduites de 9 tonnes par semaine. Vu les pressions pour permettre la construction résidentielle dans les environs de l'usine Anachemia et l'augmentation du nombre de personnes vivant dans la région immédiate, une telle réduction profite directement à la communauté. Le plomb, le cadmium et le chrome sont les éléments les plus dangereux. Ayant constaté que le plomb ne provenait que de un ou deux clients, nous leur avons demandé de modifier leurs formulations de manière à supprimer cet élément faute de quoi nous n'accepterions plus de régénérer leurs solvants. Une telle chose est malheureusement impossible dans le cas du chrome et du cadmium.

Une condition pour que le MEO délivre le Certificat d'agrément était de faire effectuer une contre-expertise par un laboratoire d'essais indépendant afin d'être certains

que toutes les exigences étaient rencontrées. On a choisi l'IMET (Independent Measurement and Technology) pour effectuer les essais requis. Voir les résultats au tableau 3. Vu ces résultats, nous pensons que le MEO devrait émettre le Certificat d'agrément.

TABLEAU 3 TENEURS EN PRODUITS DIVERS DANS LES GAZ DE CARNEAU
(moyenne sur une demi-heure)

	Normes du MEO (maximum) ($\mu g/m^3$)	Résultats des essais chez Anachemia ($\mu g/m^3$)
Cadmium	5	$2,48 \times 10^{-4}$
Mercure	5	$1,90 \times 10^{-3}$
Nickel	5	$2,20 \times 10^{-3}$
Plomb	10	0,11
Fer (métallique)	10	0,023
Chrome	30	$3,0 \times 10^{-3}$
Acide chlorhydrique	100	5,5
Particules	100	10,8
Cuivre	100	$4,8 \times 10^{-3}$
Zinc	100	0,03
Manganèse	100	$5,2 \times 10^{-4}$
Anhydride sulfureux	830	70

4.5 Qualité de l'eau

La récupération des solvants, activité principale d'Anachemia Solvents, exige le traitement de mélanges qui contiennent de l'eau. Une partie de cette eau se sépare; la phase aqueuse récupérée contient des solvants d'usage courant. Si on évacue cette phase dans les égouts municipaux, les solvants qu'elle contient augmentent la demande en oxygène à la station d'épuration. La municipalité impose une surcharge pour cette demande accrue en oxygène et on ne peut dépasser une certaine valeur. Pour abaisser la teneur en solvants des eaux évacuées, Anachemia procède à une double séparation de phase, un entraînement à la vapeur et élimine une partie de ses eaux usées (soit 9 tonnes par jour) dans la chambre de postcombustion. Cela améliore la qualité de nos effluents et réduit les frais encourus pour la surcharge.

5 CONSIDÉRATIONS ÉCONOMIQUES ET ÉCONOMIES D'ÉNERGIE

Pendant les six mois se terminant le 6 avril 1987, le procédé a rapporté environ 100 000 $, dont 40 000 $ en solvant supplémentaire récupéré. On a produit 5400 tonnes de vapeur, ce qui équivaut à 340 000 m^3 de gaz naturel. De plus, l'incertitude concernant l'expédition des boues à une décharge autorisée étant levée, on peut envisager d'accepter de nouveaux clients. On n'a pas tenu compte de ce gain potentiel.

Les frais demandés aux clients d'Anachemia doivent tenir compte du coût de la récupération des solvants et du coût d'élimination des déchets produits. Une diminution de ces derniers permet naturellement d'aider les clients d'Anachemia à rester compétitifs.

Dans un contexte commercial global, l'effet sur la balance commerciale du pays est évidemment minime. Néanmoins, des effets peuvent être perçus localement. L'expédition de boues vers des décharges à l'étranger représentait bien sûr une perte d'argent pour le pays. Par contre, le solvant recyclé représente un certain volume de pétrole brut qui n'a pas besoin d'être importé ou qui, au contraire, peut être exporté. Ce processus est donc bénéfique pour le Canada.

6 CONCLUSIONS ET TRAVAUX ULTÉRIEURS

Le procédé dont nous avons parlé ici représente un succès technique et économique. La méthode du sable chaud permet de séparer le solvant des boues sans que celles-ci ne se transforment en une masse solide. Le procédé fournit assez d'énergie pour être autosuffisant et les gaz de pyrolyse peuvent même alimenter une chaudière de récupération. Les solides des boues sont recueillis sous forme d'une fine poussière dans des cyclones et un filtre à manches, et peuvent être éliminés d'une façon sécuritaire pour l'environnement. Du point de vue économique, le procédé est rentable puisqu'il réduit les frais d'élimination des boues, les coûts de production de vapeur, et d'élimination d'eaux polluées par des solvants.

Il y a toutefois place pour des améliorations, tant du point de vue fiabilité que capacité de production. En fait, une nouvelle installation est en cours de construction. Elle sera caractérisée par un meilleur agencement des éléments, une plus grande efficacité des vis sans fin qui auront une inclinaison plus douce, et par de meilleures installations pour transporter le solvant, le sable et les eaux usées.

Ce procédé pourrait également être modifié pour traiter d'autres boues constituées de liquides combustibles et de solides minéraux, par exemple des boues de forage.

RÉFÉRENCES

1. Fane, A.G. et R.A. Mitchell, "Minimum Spouting Velocity of Scaled-up Beds", *Canadian Journal of Chemical Engineering, 62*:437 (1984).

2. McGregor, I.R., D.K. Jackson, W.F.M. Brown et K.D. Burrell, "Disposal of Wastes with Solvent Recovery", Demande de brevet n° 752,838 pour les États-Unis et le Canada, 7 août 1985 (attribuée à Anachemia Solvents Limited, Mississauga, Ontario).